



PEG-6000 胁迫下 10 个苜蓿品种 幼苗期抗旱性比较

穆怀彬¹, 伏兵哲², 德 英¹

(1. 中国农业科学院草原研究所, 内蒙古 呼和浩特 010010; 2. 宁夏大学农学院, 宁夏 银川 750021)

摘要:为比较苜蓿(*Medicago sativa*)幼苗抗旱性,采用 5 种不同水势(0、-0.3、-0.6、-0.9 和 -1.2 MPa)的 PEG-6000 溶液对 10 个苜蓿品种幼苗进行模拟干旱胁迫,测定了细胞膜透性,丙二醛(MDA)、脯氨酸(Pro)和类胡萝卜素(Car)含量以及超氧化物歧化酶(SOD)活性等生理生化指标。结果表明,随着干旱胁迫的加剧,苜蓿幼苗叶片细胞膜透性、MDA 和 Car 含量总体呈上升趋势;Pro 含量和 SOD 活性总体呈先降后升的趋势;苜蓿幼苗的耐旱极限在 -0.9 MPa 水势附近;利用隶属函数分析得出 10 个苜蓿品种的抗旱性强弱为:德国德贝>大富豪>阿尔冈金>West blend>FGZT 106>苜蓿王 1#>皇后 2000>爱菲尼特>新疆大叶>四季旺。

关键词:苜蓿;幼苗期;抗旱性;PEG-6000

中图分类号:S551+.734;Q945.7

文献标识码:A

文章编号:1001-0629(2011)10-1809-06

*¹ 苜蓿(*Medicago sativa*)富含蛋白质,有广泛的生态适应性和稳定的生产力,适口性好,是世界上栽培面积最广、最主要的优良豆科牧草之一,被人们誉为“牧草之王”。据文献资料^[1]记载,苜蓿的起源中心是伊朗,之后逐渐传入其他国家,在中国已有 2 000 多年的栽培历史。目前,全世界种植苜蓿已达 3 330 万 hm^2 。我国中西部和北方地区的中温带和半干旱区为苜蓿最佳生长区,苜蓿种植遍及我国北方 14 个省区,种植面积达 280 万 hm^2 ,对我国农牧业发展起到了重要作用^[2]。同时,苜蓿具有抗干旱、耐盐碱、抗风沙、喜光照等特点,又是改良土壤、防止水土流失、保护生态环境的草种之一。

国内外已在苜蓿引种栽培、稳产高产、病虫害防治、遗传育种以及抗逆性等方面都做了不少的研究。其中,苜蓿的生态适应性研究一直是人们关注的焦点。目前,有关苜蓿生态适应性的研究和报道很多,研究领域逐渐从形态水平过渡到生理生化以及分子生物学水平^[3-7]。

苜蓿生育期需水较多,通常比禾本科多 2 倍,每形成 1 g 干物质需水 700~800 g,田间需水量达 5 855 m^3/hm^2 ^[8]。而我国北方苜蓿主栽区干旱缺水,因此,苜蓿的抗旱性研究显得尤为重要。幼苗期是植物生长发育过程中的一个非常重要的时期,幼苗期抗旱性能的强弱直接影响到植物能否

顺利完成整个生育期,故在实际生产中常说“保苗是关键”。本研究选择 10 个苜蓿品种,用 PEG-6000 溶液人工模拟干旱处理,在其幼苗期分析其叶片细胞膜透性,丙二醛(MDA)、脯氨酸(Pro)、类胡萝卜素(Car)含量和超氧化物歧化酶(SOD)活性研究其抗旱性,并探寻苜蓿幼苗期抗旱的生理生化规律,以期苜蓿的选种栽培、优化育种等提供理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 试验材料 供试苜蓿品种及其来源见表 1。

1.2 试验设计 在 20℃ 室温下(经实测,试验期内水培室温度为 17~24℃),采用 Hoagland 营养液配方水培 10 个品种苜蓿幼苗 90~100 株。水培装置包括:营养液盆、水培筐、沙网、碎石、细砂。播种前以上设备和材料均在 90℃ 高温下灭菌 5 h,苜蓿种子经 HgCl_2 消毒。当幼苗长至三到四叶期时进行干旱胁迫。试验设置 5 个水势:0(CK)、-0.3、-0.6、-0.9 和 -1.2 MPa。处理后每 2 d 进行称量补水以维持溶液浓度。处理后第 7 天取样,取样时间为 08:00—10:00。除细胞膜透性即时测定外,

收稿日期:2010-12-08 接受日期:2011-01-25
作者简介:穆怀彬(1978-),女(回族),内蒙古包头人,副研究员,博士,主要从事牧草种质资源研究。
E-mail: huaibinmu@yahoo.com.cn
通信作者:伏兵哲 E-mail: fbzhe19@163.com

表 1 供试苜蓿品种及其来源

序号	品种	英文名	原产地	来源
1	新疆大叶	XinJiang Bigleaf	中国	北京克劳沃草业中心
2	FGZT 106	FGZT 106	美国	中种草业
3	大富豪	Millionaire	加拿大	北京克劳沃草业中心
4	四季旺	Siriver	澳大利亚	中种草业
5	苜蓿王 1#	Emperor 1#	美国	北京克劳沃草业中心
6	West blend	West blend	美国	北京克劳沃草业中心
7	皇后 2000	Golden Empress	美国	中种草业
8	爱菲尼特	Affinity	美国	北京克劳沃草业中心
9	阿尔冈金	Algonquin	美国	北京克劳沃草业中心
10	德国德贝	German Derby	德国	中种草业

其余样品均迅速冷冻在 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的低温冰箱中,以备测定其余指标。

不同水势所需 PEG-6000 溶液的量计算公式^[9]如下:

$$\Psi_s = -(1.18 \times 10^{-2}) \times C - (1.18 \times 10^{-4}) \times C^2 + (2.67 \times 10^{-4}) \times C \times T + (8.39 \times 10^{-7}) \times C^2 \times T. \quad (1)$$

式中, Ψ_s 为溶液的水势(MPa); C 为PEG-6000溶液的浓度(g/kg); T 为温度($^{\circ}\text{C}$)。

1.3 测定方法 指标测定参照李合生^[10]、张志良和翟伟箬^[11]、高俊风^[12]的方法。采用电导率仪法测定细胞膜透性;采用TBA-MDA显色法测定MDA含量;采用酸性茚三酮法测定Pro含量;采用95%乙醇提取法测定Car含量;采用氮蓝四唑光还原法测定SOD活性。

1.4 数据分析 采用DPS v8.01和Excel 2003软件数据处理与分析。

目前,模糊数学中的隶属函数法被广泛应用在品种抗逆性评价。隶属函数法避免了利用单一指标进行抗逆性评价所带来的片面性,它能综合所有指标,并在权重统一的情况下,对不同种或品种进行抗逆性排序,使评定结果更客观全面地接近实际情况。隶属函数的分析方法如下:

$$Y_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{j,\min}}{X_{j,\max} - X_{j,\min}}; \quad (2)$$

$$Y_{ij} = 1 - \frac{X_{ij} - X_{j,\min}}{X_{j,\max} - X_{j,\min}}. \quad (3)$$

式中, Y_{ij} 为*i*品种的*j*指标的隶属函数值; X_{ij} 为*i*品种的*j*指标的均值; $X_{j,\max}$ 为各品种*j*指标均值的最大值; $X_{j,\min}$ 为各品种*j*指标均值的最小值。若*j*指

标与抗旱性呈正相关,则用公式(2);若*j*指标与抗旱性呈负相关,则用公式(3)。

2 结果

2.1 干旱胁迫对苜蓿幼苗叶片细胞膜透性的影响 随着干旱胁迫的加剧,苜蓿幼苗叶片的细胞膜透性总体呈上升趋势。水势从0到 -1.2 MPa ,叶片细胞膜透性均值为17.11%、18.50%、28.53%、42.75%和44.82%。随着水势的降低,细胞膜透性的变化呈现出明显的两个拐点,即 -0.3 和 -0.9 MPa 水势。当水势高于 -0.3 MPa 时,与对照相比细胞膜透性变化不大;当水势低于 -0.3 MPa 时,细胞膜透性开始大幅增加,表明苜蓿幼苗开始受到较为严重的干旱胁迫;当水势降到 -0.9 MPa 时,细胞膜透性较对照增加了149.85%;当水势低于 -0.9 MPa 时,细胞膜透性的增幅开始下降, -1.2 MPa 水势的细胞膜透性只比 -0.9 MPa 的增加了4.84%(图1)。结果表明,当水势在 -0.9

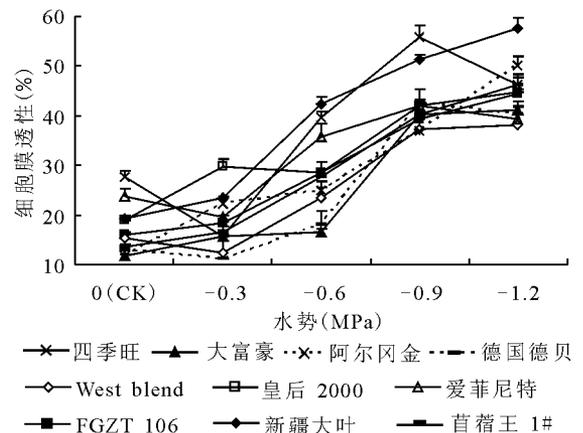


图 1 干旱胁迫第 7 天时苜蓿幼苗叶片细胞膜透性的变化

MPa 左右时,苜蓿幼苗叶片的细胞膜可能已被完全或接近完全破坏。苜蓿幼苗抗旱叶片细胞膜透性变化的临界值可能在-0.9 MPa 水势附近。

2.2 干旱胁迫对苜蓿幼苗叶片中丙二醛含量的影响 水势从0到-1.2 MPa,叶片中MDA含量的均值分别为0.011 0、0.011 9、0.017 6、0.015 8和0.014 8 $\mu\text{mol/g}$ (表2)。总体看来,随着水势的降低,MDA含量呈上升趋势,且10个品种间MDA含量差异显著($P < 0.05$)。当水势为-0.3 MPa时,MDA含量与对照相比变化不大;当水势降到-0.6 MPa时,MDA含量达到最大值;当水势低于-0.6 MPa时,MDA含量不升反降但仍高于对照。结果表明,当水势达到-0.6 MPa时,苜蓿幼苗叶片中的膜脂过氧化

作用已接近峰值。苜蓿幼苗抗旱的临界水势可能介于-0.9~-0.6 MPa。

2.3 干旱胁迫对苜蓿幼苗叶片中脯氨酸含量的影响 随着水势的降低,苜蓿幼苗叶片中Pro含量总体呈先降后升的变化趋势,且10个品种间Pro含量差异显著($P < 0.05$)。水势从0到-1.2 MPa,叶片中Pro含量的均值分别为104.17、75.28、184.89、289.54和248.23 $\mu\text{g/g}$ (图2)。当水势为-0.3 MPa时,Pro含量较对照下降27.73%;当水势低于-0.3 MPa时,Pro含量开始上升;当水势下降到-0.9 MPa时,Pro含量较对照上升177.95%;当水势低于-0.9 MPa时,Pro含量又略呈下降趋势。可能当水势达到-0.9 MPa时,

表2 干旱胁迫第7天时苜蓿幼苗叶片中丙二醛含量的变化

$\mu\text{mol/g}$

品种名	水势				
	0	-0.3 MPa	-0.6 MPa	-0.9 MPa	-1.2 MPa
新疆大叶	0.011 6±0.001 0b	0.012 4±0.000 8b	0.019 1±0.002 8c	0.019 2±0.002 4a	0.017 0±0.001 6c
FGZT 106	0.014 1±0.000 7a	0.013 9±0.000 5a	0.015 0±0.000 3e	0.015 0±0.000 3cd	0.019 3±0.001 2b
大富豪	0.013 5±0.000 6ab	0.012 5±0.002 4b	0.020 1±0.003 4b	0.015 9±0.000 6c	0.010 1±0.000 1f
四季旺	0.011 0±0.000 7b	0.009 2±0.000 6d	0.015 5±0.000 9e	0.017 6±0.000 9b	0.011 4±0.000 8ef
苜蓿王1#	0.011 3±0.001 3b	0.012 6±0.001 0b	0.021 8±0.002 8a	0.015 1±0.001 2cd	0.021 4±0.001 3a
West blend	0.011 5±0.001 0b	0.013 3±0.001 2ab	0.015 6±0.002 0e	0.016 2±0.000 3c	0.014 2±0.001 1de
皇后2000	0.008 7±0.000 3d	0.011 3±0.000 1c	0.018 6±0.000 6c	0.017 7±0.001 3b	0.013 3±0.000 6e
爱菲尼特	0.010 4±0.000 7c	0.014 6±0.001 3a	0.016 9±0.001 3d	0.015 7±0.001 5c	0.015 2±0.001 7d
阿尔冈金	0.008 5±0.000 2d	0.009 3±0.000 2d	0.018 2±0.000 7cd	0.012 6±0.002 0d	0.012 5±0.000 5e
德国德贝	0.008 9±0.000 3d	0.009 6±0.000 5d	0.015 3±0.001 1e	0.013 0±0.000 3d	0.013 3±0.000 9e

注:表中数据为3次重复的平均值±标准误差, $n=3$;同列不同字母表示品种间差异显著($P < 0.05$)。下同。

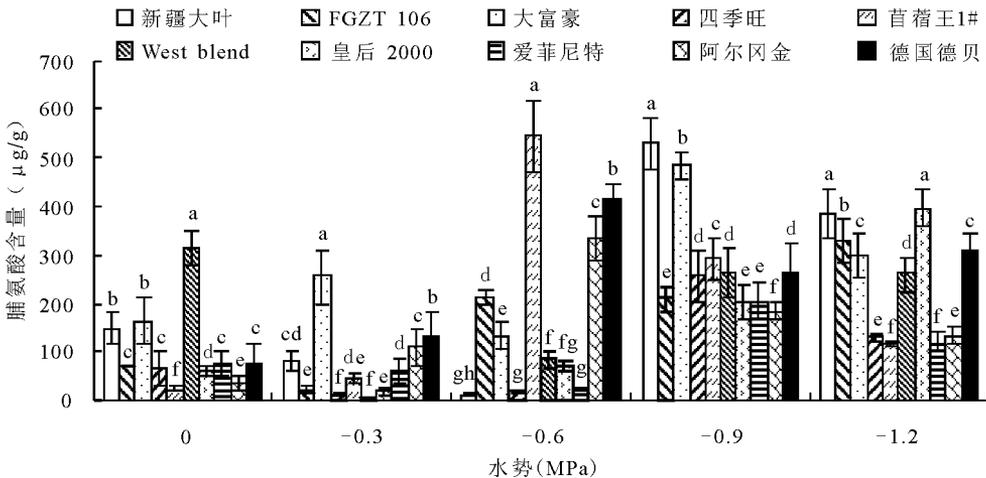


图2 干旱胁迫第7天时苜蓿幼苗叶片中脯氨酸含量的变化

苜蓿幼苗叶片细胞中的 Pro 渗透机能已达极限。苜蓿幼苗抗旱的临界值可能在 -0.9 MPa 水势左右。

2.4 干旱胁迫对苜蓿幼苗叶片中类胡萝卜素含量的影响 在干旱胁迫下,苜蓿幼苗叶片中 Car 含量呈上升趋势,且 10 个品种间 Car 含量差异显著($P < 0.05$)。水势从 0 到 -1.2 MPa,叶片中 Car 含量的均值分别为 0.071 0、0.103 5、0.111 0、

0.138 0 和 0.119 6 $\mu\text{mol/g}$ (表 3)。当水势下降到 -0.9 MPa 时,Car 含量达到最大值,较对照增加 94.37%;当水势继续下降时,Car 含量呈下降趋势。结果表明,当水势降到 -0.9 MPa 时,苜蓿幼苗叶片细胞中的抗氧化物质的抵御能力可能已达极限。苜蓿幼苗抗旱的临界值可能在 -0.9 MPa 水势左右。

表 3 干旱胁迫第 7 天时苜蓿幼苗叶片类胡萝卜素含量的变化

$\mu\text{mol/g}$

品种名	水势				
	0	-0.3 MPa	-0.6 MPa	-0.9 MPa	-1.2 MPa
新疆大叶	0.091 6 \pm 0.001 1a	0.101 8 \pm 0.010 4d	0.122 0 \pm 0.006 6b	0.147 0 \pm 0.010 2d	0.184 0 \pm 0.003 7a
FGZT 106	0.064 0 \pm 0.003 6d	0.064 6 \pm 0.000 8g	0.093 7 \pm 0.006 7e	0.145 7 \pm 0.012 0d	0.145 0 \pm 0.022 0b
大富豪	0.087 5 \pm 0.002 7b	0.131 4 \pm 0.011 5b	0.112 5 \pm 0.006 1cd	0.155 7 \pm 0.016 3c	0.133 5 \pm 0.002 7c
四季旺	0.059 0 \pm 0.002 0de	0.070 7 \pm 0.000 2f	0.093 5 \pm 0.008 7e	0.117 4 \pm 0.007 3f	0.103 9 \pm 0.006 2e
苜蓿王 1#	0.065 6 \pm 0.000 6d	0.162 0 \pm 0.010 2a	0.119 1 \pm 0.011 3c	0.092 2 \pm 0.005 4g	0.119 0 \pm 0.009 8de
West blend	0.073 1 \pm 0.002 8c	0.126 1 \pm 0.005 8bc	0.117 3 \pm 0.000 7c	0.135 2 \pm 0.019 6e	0.126 9 \pm 0.009 0d
皇后 2000	0.069 0 \pm 0.002 3cd	0.120 6 \pm 0.004 9c	0.094 5 \pm 0.008 1e	0.182 7 \pm 0.025 7a	0.066 9 \pm 0.008 5g
爱菲尼特	0.078 2 \pm 0.007 5c	0.097 6 \pm 0.008 3d	0.146 3 \pm 0.004 9a	0.116 7 \pm 0.001 2f	0.121 7 \pm 0.004 9de
阿尔冈金	0.065 8 \pm 0.001 9d	0.085 7 \pm 0.001 2e	0.109 7 \pm 0.002 1d	0.169 5 \pm 0.005 8b	0.095 2 \pm 0.002 2f
德国德贝	0.056 2 \pm 0.007 5e	0.074 1 \pm 0.002 5f	0.101 0 \pm 0.007 6de	0.117 8 \pm 0.001 7f	0.099 6 \pm 0.001 3ef

2.5 干旱胁迫对苜蓿幼苗叶片中超氧化物歧化酶活性的影响 随着干旱胁迫的加剧,苜蓿幼苗叶片中 SOD 活性总体呈先降后升再降的变化趋势。水势从 0 到 -1.2 MPa,叶片中 SOD 活性的均值分别为 143.36、96.87、77.07、244.59 和 98.53 U/g(图 3)。当水势为 -0.3 和 -0.6 MPa 时,SOD 活性均低于对照;当水势下降至 -0.9 MPa 时,

SOD 活性大幅升高,较对照增加了 70.61%;而当水势进一步下降,SOD 活性又大幅下降, -1.2 MPa 水势时的 SOD 活性较对照下降了 31.27%。可能当水势降至 -0.9 MPa 时,苜蓿幼苗叶片细胞中 SOD 活性被完全激活;而当水势进一步降低,细胞可能已难以抵御干旱胁迫,导致 SOD 活性下降。苜蓿幼苗抗旱的临界值可能在 -0.9 MPa 水势左右。

2.6 苜蓿品种抗旱性综合评价

上述抗性指标的分析只能表明 10 个苜蓿品种在干旱胁迫下总的生理响应过程,而难以判断出具体品种的抗旱性强弱,这就需要借助数学方法来分析。根据隶属函数的分析方法,利用本试验所测的 5 个抗旱指标在不同水势下的均值,计算出 10 个苜蓿品种不同指标的隶属函数值,并再求其平均值,最后根据隶属函数的平均值进行排序,得出 10 个苜蓿品种的抗旱性强弱(表 4);依次为德国德贝 > 大富豪 > 阿尔冈金 > West blend > FGZT 106 > 苜蓿王 1# > 皇后 2000 > 爱菲尼特 > 新疆大叶 > 四季旺。

3 讨论

植物的抗旱机制涉及到一个复杂的体系,单一

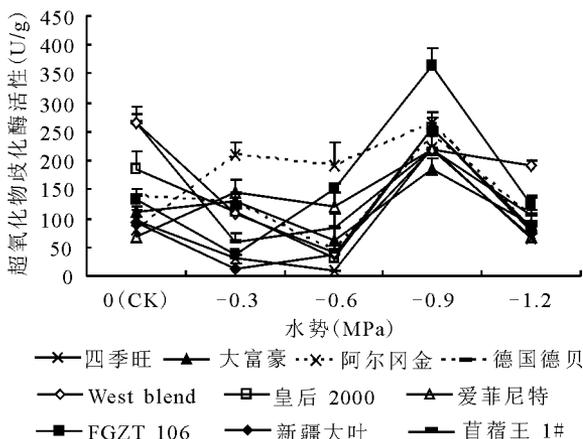


图 3 干旱胁迫第 7 天时苜蓿幼苗叶片内超氧化物歧化酶活性的变化

表4 各抗旱指标的隶属函数值及10个苜蓿品种综合抗旱性排序

品种名	细胞膜透性	丙二醛含量	脯氨酸含量	类胡萝卜素含量	超氧化物歧化酶活性	隶属函数平均值	抗旱性排序
新疆大叶	0.000 0	0.163 3	0.782 3	1.000 0	0.145 2	0.418 1	9
FGZT 106	0.696 1	0.387 8	0.476 7	0.375 9	0.820 4	0.551 4	5
大富豪	0.968 2	0.632 7	1.000 0	0.872 3	0.332 2	0.761 1	2
四季旺	0.275 3	0.877 6	0.010 3	0.000 0	0.000 0	0.232 6	10
苜蓿王 1#	0.698 7	0.000 0	0.778 7	0.631 2	0.329 1	0.487 5	6
West blend	1.000 0	0.591 8	0.273 3	0.709 2	0.547 9	0.624 5	4
皇后 2000	0.462 2	0.510 2	0.373 0	0.468 1	0.368 0	0.436 3	7
爱菲尼特	0.602 0	0.428 6	0.000 0	0.572 1	0.529 8	0.426 5	8
阿尔冈金	0.630 6	0.918 4	0.465 9	0.439 7	1.000 0	0.690 9	3
德国德贝	0.986 0	1.000 0	0.936 2	0.513 0	0.450 4	0.777 1	1

的指标很难说明某种植物(品种)的抗旱性的强弱,必须测定多种指标,并在此基础上作出综合评判。本研究所选的指标均是目前较常用且与抗旱性密切相关的生理生化指标,尽管随着研究进一步的深入,人们对于某些指标与抗旱性的关系产生了疑问。但可以肯定的是,这些指标与抗旱性是相关的,只是它们之间的关系可能并不是以前人们所认识的那样呈简单的线性关系。

本研究表明,在 -0.9 MPa 水势时,各测试指标的变化趋势均出现了明显的转折点,说明 -0.9 MPa 可能是苜蓿幼苗耐旱的关键水势点,同时苜蓿幼苗耐旱的极限可能是在一个范围内。根据本研究结果可以推断出苜蓿幼苗抗旱的临界值在 -0.9 MPa 水势左右。此外,值得注意的是,细胞膜透性及丙二醛含量在 -0.3 MPa 水势时与对照相比变化不大,而脯氨酸含量与超氧化物歧化酶活性均在 -0.3 MPa 水势时下降。这些变化表明苜蓿幼苗在 -0.3 MPa 水势下几乎没有受到干旱胁迫的伤害。这可能是由于苜蓿本身具有较强的抗旱性,或者是由其他生理原因造成^[13]。

目前对于游离脯氨酸是否适宜作为抗旱性指标的争议是最多的。最大的疑问在于,干旱胁迫下,游离脯氨酸的累积途径有很多,既可能有适应性的意义,又可能是细胞结构和功能受损伤的表现^[14]。由此可见,脯氨酸的积累与植物的抗旱性之间可能并不是简单的正相关关系。但脯氨酸在干旱胁迫下大量积累,证明了其对干旱的敏感性,本研究也证实了这一点,因此还是可以把它作为评判品种抗旱性强弱的指标或者参数。但是,在本研究中也出现了随

着胁迫的加剧,某些苜蓿品种的脯氨酸含量呈下降趋势的现象,这可能是苜蓿幼苗对于干旱胁迫的一种适应性反应,其叶片可能产生了暂时的生理休克^[15]。

多项研究表明^[16-18],植物在遭受逆境胁迫时,其体内类胡萝卜素含量和超氧化物歧化酶活性均会上升,本研究也证实了这一点。一般认为,抗性较强的品种其叶片中类胡萝卜素的含量较高,并且具有较高的超氧化物歧化酶活性。但在本研究中,随着干旱胁迫的加剧,类胡萝卜素含量和超氧化物歧化酶活性出现下降,这可能是由于抗氧化保护系统的抵抗修复能力是有一定阈值的^[19],当胁迫超过一定程度后,抗氧化保护系统也将失去保护作用。此外,抗氧化系统保护能力的强弱并不在于单个物质的活性大小或含量多少上,关键在于它们之间的协同性是否好^[20],因为清除活性氧是分步骤的,抗氧化保护系统中的每种物质只在特定的步骤上起作用。

综上所述,随着干旱胁迫的加剧,苜蓿幼苗叶片中细胞膜透性、丙二醛含量和类胡萝卜素含量总体呈上升趋势;脯氨酸含量和超氧化物歧化酶活性总体呈先降后升的趋势;苜蓿幼苗期的耐旱极限范围可能在 -0.9 MPa 水势附近;利用隶属函数分析得出10个苜蓿品种的抗旱性强弱为:德国德贝>大富豪>阿尔冈金>West blend>FGZT 106>苜蓿王 1#>皇后 2000>爱菲尼特>新疆大叶>四季旺。

参考文献

- [1] 耿华珠. 中国苜蓿[M]. 北京:中国农业出版社,1995: 25-45.

- [2] 张晓霞,高永革,严学兵,等.紫花苜蓿抗热性鉴定与评价的研究进展[J].草业科学,2010,27(2):113-118.
- [3] Zeid I M, Shedeed Z A. Response of alfalfa to putrescine treatment under drought stress[J]. *Biologia Plantarum*, 2006, 50(4): 635-640.
- [4] Goicoechea N, Trivedi S, Halshaw L, *et al.* Influence of carbuncular mycorrhizae and Rhizobium on nutrient content and water relations in drought stressed alfalfa [J]. *Plant and Soil*, 1997, 192: 261-268.
- [5] Lindsay W B, Aleida H W, Megan H R, *et al.* Water relations and adaptations to increasing water deficit in three perennial legumes, *Medicago sativa*, *Dorycnium hirsutum* and *Dorycnium rectum* [J]. *Plant Soil*, 2007, 290: 231-243.
- [6] 姜义宝,李建华,方丽云,等.钙处理对苜蓿幼苗抗旱性的影响[J].中国草地学报,2008,30(1):117-120.
- [7] 徐向南,易津,于林清,等.紫花苜蓿抗旱性研究进展[J].中国农学通报,2009,25(21):180-184.
- [8] 曹致中.优质苜蓿栽培与利用[M].北京:中国农业出版社,2002.
- [9] Michel B E, Kaufmann M R. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000 [J]. *Plant Physiology*, 1973, 51: 914-916.
- [10] 李合生.植物生理生化试验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000.
- [11] 张志良,翟伟箐.植物生理学试验指导[M].北京:高等教育出版社,2003.
- [12] 高俊凤.植物生理学试验指导[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [13] 孟林,毛培春,张国芳,等.17个苜蓿品种苗期抗旱性鉴定[J].草业科学,2008,25(1):21-25.
- [14] 刘娥娥,宗会,郭振飞,等.干旱、盐和低温胁迫对水稻幼苗脯氨酸含量的影响[J].热带亚热带植物学报,2000,8(3):235-238.
- [15] 钱永常,余叔文.大豆对SO₂的适应性反应[J].植物生理学报,1991,17(3):232-238.
- [16] 邹琦,李德全,郑国生,等.作物抗旱生理生态研究[M].济南:山东科学技术出版社,1994.
- [17] 霍学敏,呼天明,杨培志,等.干旱胁迫对苗期紫花苜蓿3种生理指标的影响[J].草业科学,2010,27(4):89-92.
- [18] 张永锋,梁正伟,隋丽,等.盐碱胁迫对苗期紫花苜蓿生理特性的影响[J].草业学报,2009,18(4):230-235.
- [19] 王久生,王根轩.CO₂倍增对渗透胁迫下小麦叶片抗氧化酶类及细胞程序性死亡的影响[J].植物生理学报,2000,26(5):453-457.
- [20] 韩瑞宏.苗期紫花苜蓿(*Medicago sativa*)对干旱胁迫的适应机制研究[D].北京:北京林业大学,2006.

Drought tolerance of alfalfa seedlings of 10 varieties under PEG-6000 stress

MU Huai-bin¹, FU Bing-zhe², Deying¹

(1. Grassland Research Institute of Chinese Academy of Agriculture Sciences, Inner Mongolia Hohhot 010010, China;

2. College of Agriculture, Ningxia University, Ningxia Yinchuan 750021, China)

Abstract: An experiment was conducted to estimate the drought tolerance of alfalfa (*Medicago sativa*) seedlings of 10 varieties stressed by PEG-6000 with the concentrations of 0 (CK)、-0.3、-0.6、-0.9 and -1.2 MPa by measuring cell membrane permeability, malondialdehyde (MDA), free proline (Pro) and carotenoid (Car) concentration as well as superoxide dismutase (SOD) activity. This study showed that the cell membrane permeability, MDA and Car concentration in alfalfa leaves increased and the Pro concentration and SOD activity firstly decreased and then increased as drought stress increased. The maximum range of drought resistance of alfalfa seedlings was at -0.9 MPa water potential around. The subordination function analysis showed that the drought tolerance of 10 alfalfa varieties was German Derby > Millionaire > Algonquin > West blend > FGZT 106 > Emperor 1 # > Golden Empress > Affinity > XinJiang Daye > Siriver.

Key words: alfalfa; seedling; drought resistance; PEG-6000